

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEGRADATIVA DE CAUCHO DE
UN CONSORCIO MICROBIANO NATIVO BAJO CONDICIONES DE
LABORATORIO, AREQUIPA, 2019”**

Tesis presentada por los Bachilleres

Castañeda Alejo, Sarelia Mirey

Málaga Espinoza, Christian Javier

para optar por el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Armando Jacinto Arenazas Rodríguez

Arequipa – Perú

2019

DICTAMEN DEL BORRADOR DE TESIS



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 <http://www.ucsm.edu.pe> Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
INFORME DICTAMEN BORRADOR DE TESIS

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

*Evaluación de la Capacidad Degradativa de Carcho de un Consorcio Microbiano
Nativo bajo condiciones de Laboratorio, Arequipa, 2019*

Presentado por el (los) Bachiller (es):

- Sorelia Mirey Castañeda Alejo*
- Christian Javier Málaga Espinoza*

Nuestro DICTAMEN es:

Favorable

OBSERVACIONES:

Ninguna

Arequipa, 29 de Noviembre del 2019

DICTAMINADOR

Dr. Bgo. Armando Brenzaga R.
Cod. 2828

DICTAMINADOR

M.Sc. Ing. Jishelyn M. Paredes Zava
Cod. Doc. 3043

DICTAMINADOR

P. Ing. Darly Edinson Cordero Pelle
C.O. 7721

Dedicatoria

A Dios por darme la fuerza para continuar en este proceso, a mis padres por su amor incondicional y su apoyo continuo para terminar esta investigación, he tenido el privilegio de ser su hija, a mis hermanas que a pesar de sus bromas siempre creyeron en mí, a mis profesores y amigos por sus consejos y apoyo moral en esta etapa de nuestras vidas y en especial a la Dra. María Rosario Valderrama por todo su apoyo en este proceso.

Sarelia Mirey Castañeda Alejo

A Dios por brindarme la oportunidad para ser mejor todos los días. A mi familia por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, a mis amigos por el soporte moral, a mis profesores en especial a la Dra. María Rosario Valderrama por su apoyo incondicional y por haberme brindado la oportunidad de iniciar en el mundo de la investigación.

Christian Javier Málaga Espinoza



Esta tesis fue financiada por el Vicerrectorado de Investigación mediante la resolución N° 25180-R-2018 la cual aprueba el desarrollo del Proyecto “Degradación de caucho a través de un consorcio bacteriano nativo mediante el uso de biorreactores”, por lo que la presente tesis es una parte de dicho proyecto.

Agradecimiento

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María por otorgarnos la subvención económica al proyecto presentado al concurso “Fondo de Investigación 2017” mediante el cual se pudo generar la presente tesis.

A la Dra. María Rosario Valderrama Valencia por su apoyo total desde que nos conoció como alumnos hasta ahora, especialmente por sus consejos y guía para iniciar en este mundo de la investigación.

Al Dr. Gonzalo Dávila del Carpio por siempre estar dispuesto a escuchar nuestras inquietudes y brindarnos su apoyo y guía.

Al Dr. Blgo. Armando Arenazas, a la M. Sc. Ing. Joshelyn Paredes y al M. Sc. Ing. Berly Cárdenas por ser más que profesores, nuestros amigos, quienes nos impulsaron a creer en nosotros mismos y en el potencial que aún nos falta por desarrollar.

A la Reencauchadora RELINO S.A. por su apoyo al momento de conseguir insumos para el trabajo de investigación.

Índice

Resumen	i
Abstract	ii
Introducción	iii
Lista de Abreviaturas	v
Capítulo 1. Planteamiento del Problema	1
1.1. Diagnóstico situacional	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Justificación	2
1.4. Hipótesis	4
1.5. Variables	4
1.6. Objetivos	4
1.6.1. Objetivo General	4
1.6.2. Objetivos Específicos	4
Capítulo 2. FUNDAMENTO TEÓRICO	6
2.1. Marco Legal	6
2.1.1. Marco Legal Nacional	6
2.1.2. Marco Legal Internacional	7
2.2. Marco Teórico	9
2.2.1. Cepas microbianas nativas	9
2.2.2. Biodegradación	9
2.2.2.1. Capacidad Degradativa	10
2.2.3. Parámetros que influyen la biodegradación	10
2.2.4. Polímeros	11
2.2.5. Caucho	11
2.2.6. Tipos de caucho	12
2.2.7. El caucho utilizado en la producción de llantas	14

2.2.8. Condiciones Climáticas de Socabaya	16
2.3. Marco Histórico	16
2.3.1. Descubrimiento del caucho	16
2.3.2. Proceso de vulcanización	17
2.3.3. La explotación del caucho en la Industria	18
2.3.1. Comercialización del caucho	18
2.4. Antecedentes y Estado del Arte	22
2.4.1. Sistemas de Degradación y Recuperación de NFU	23
2.4.2. Métodos Físicoquímicos de degradación de caucho	23
2.4.3. Métodos Biológicos de degradación de caucho	26
2.4.4. Ensayos para la identificación de la degradación	28
2.4.4.1. Análisis con reactivo de Schiff	28
2.4.4.2. Evolución de la respiración microbiana	29
2.4.4.3. Análisis de imágenes de microscopía electrónica de barrido	30
Capítulo 3. METODOLOGÍA	31
3.1. Tipo de Investigación	31
3.2. Campo de verificación	31
3.3. Determinación de la población, muestra y muestreo	31
3.4. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos	32
3.5. Materiales	33
3.5.1. Material de toma de muestra	33
3.5.2. Material de Vidrio	33
3.5.3. Material de laboratorio	33
3.5.4. Reactivos de Laboratorio	34
3.5.5. Equipos	35
3.5.6. Otros	35
3.6. Métodos	36
3.6.1. Aclimatación de microorganismos con potencial biodegradador de caucho	36
3.6.2. Evaluación de la capacidad degradativa de caucho del consorcio microbiano	37

3.6.3. Identificación molecular del consorcio bacteriano capaz de degradar caucho	41
Capítulo 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Aclimatación de microorganismos con potencial biodegradador de caucho	42
4.2. Evaluación de la capacidad degradativa del consorcio microbiano	51
4.3. Identificación del consorcio bacteriano capaz de degradar caucho	63
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones	69
5.1. Conclusiones	69
5.2. Recomendaciones	70
Bibliografía	71
ANEXOS	90

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Variables</i>	4
<i>Tabla 2. Composición de Neumáticos General (Castro, 2008)</i>	15
<i>Tabla 3. Energía de disociación de enlaces dentro de la matriz de caucho (Adhikari, De, & Maiti, 2000)</i>	25
<i>Tabla 4. Conformación de la batería de pruebas</i>	37
<i>Tabla 5. Porcentaje de Biodegradación</i>	55
<i>Tabla 6. Descripción de la acumulación de degradación de caucho</i>	55
<i>Tabla 7. Comparación de porcentaje de degradación</i>	57
<i>Tabla 8. Resumen de bacterias degradadoras de caucho (Chengalroyen & Dabbs, 2013)</i>	58
<i>Tabla 9. Identificación por Órdenes del consorcio de degradación de caucho</i>	64
<i>Tabla 10. Comparación de Cantidad de Componentes para la fabricación de un neumático (Estados Unidos Patente nº US20170152373A1, 2015)</i>	90
<i>Tabla 11. Concentración de las soluciones</i>	97
<i>Tabla 12. Prueba de Respiración Test de Sturm Prueba 1 (A1)</i>	97
<i>Tabla 13. Prueba de Respiración Test de Sturm Blanco 1 (B1)</i>	98
<i>Tabla 14. Prueba de Respiración Test de Sturm Prueba 2 (A2)</i>	98
<i>Tabla 15. Prueba de Respiración Test de Sturm Blanco 2 (B2)</i>	99
<i>Tabla 16. Prueba de Respiración Test de Sturm Prueba 3 (A3)</i>	99
<i>Tabla 17. Prueba de Respiración Test de Sturm Blanco 3 (B3)</i>	100
<i>Tabla 18. Porcentaje de Biodegradación Acumulativo</i>	101

Índice de Figuras

Figura 1. Isómeros cis- y trans- del caucho natural (Rodgers, 2016)	11
Figura 2. Vulcanización del caucho (Kumar & Nijasure, 1997)	17
Figura 3. Cadena productiva del caucho (Departamento Nacional de Planeación, 2004)	19
Figura 4. Consumo mundial de caucho natural y sintético (Statista, 2018)	20
Figura 5. Detalle de las exportaciones a nivel mundial en el año 2018 (AGRODATAPERU, 2018)	21
Figura 6. Importaciones de caucho en el Perú (AGRODATAPERU, 2018)	21
Figura 7. Extrusora para la recuperación de caucho (Seghar, Asaro, Rolland-Monnet, & Ait Hocine, 2019)	24
Figura 8. Ruta de degradación propuesta por Tsuchii, Suzuki y Takeda (1985)	27
Figura 9. Esquema del Test de Sturm (Shah A. A., Hasan, Shah, Mutiullah, & Hameed, 2012)	29
Figura 10. Diagrama de Flujo de métodos y actividades	32
Figura 11. Prueba de Sturm modificada	38
Figura 12. Esquema de disposición de la prueba	39
Figura 13. Ubicación satelital de la zona de muestreo (Fuente: Google Earth)	43
Figura 14. Llanta sumergida en el río Socabaya	43
Figura 15. Fragmentos de caucho recolectado	45
Figura 16. Placa de cultivo inicial	45
Figura 17. Cultivo de la Colonia N°1	47
Figura 18. Cultivo de la Colonia N°2	47
Figura 19. Cultivo de la Colonia N°3	47
Figura 20. Cultivo de la Colonia N°4	47
Figura 21. Cultivo de la Colonia N°5	48
Figura 22. Tinción de gram 100x	48
Figura 23. Tinción de gram 40x	49
Figura 24. Coloración con reactivo de Schiff	50
Figura 25. Formación de aldehídos y cetonas por degradación del caucho (Linh, y otros, 2017)	50
Figura 26. Microorganismos en la cámara de Neubauer	52
Figura 27. Curva de crecimiento microbiano	52
Figura 28. Sistema de aireación	53
Figura 29. Sistema de degradación	54
Figura 30. Curva de biodegradación de caucho	56
Figura 31. Matriz de caucho sin degradar (izq.) matriz degradada en 1 mes (der.) 102X	61
Figura 32. Matriz de caucho sin degradar (izq.) matriz degradada en 1 mes (der.) 1.40 KX	62
Figura 33. Matriz de caucho sin degradar (izq.) matriz degradada en 1 mes (der.) 5.07 KX	62

<i>Figura 34. Clasificación por Especie</i>	65
<i>Figura 35. Alrededores de la zona de muestreo</i>	92
<i>Figura 36. Llanta en desuso de automóvil</i>	92
<i>Figura 37. Llanta en desuso de bicicleta</i>	93
<i>Figura 38. Presencia de larvas en la superficie y grietas de la llanta</i>	93
<i>Figura 39. Pequeñas fracturas en la superficie de la llanta</i>	94
<i>Figura 40. Perfil del sistema de aireación</i>	95
<i>Figura 41. Sistema completo para evolución de CO₂</i>	95
<i>Figura 42. Sistema de evolución de CO₂ funcionando</i>	96



Índice de Ecuaciones

<i>Ecuación 1. Cantidad Teórica de CO₂</i>	39
<i>Ecuación 2. Producción de CO₂</i>	40
<i>Ecuación 3. Porcentaje de Biodegradación</i>	40



Índice de Anexos

<i>Anexo 1. Comparación de Cantidad de Componentes para la fabricación de un neumático</i>	90
<i>Anexo 2. Fotografías de la zona de muestreo</i>	92
<i>Anexo 3. Fotografías del sistema de degradación</i>	95
<i>Anexo 4. Toma de datos para el test de Sturm</i>	97



Resumen

La presente tesis tiene por finalidad demostrar la presencia de microorganismos capaces de utilizar los compuestos de caucho de las llantas. Se utilizó un consorcio de microorganismos nativo aislado del río Socabaya que fue cultivado por un periodo de 7 meses en medio de sales minerales (MSM) cuya única fuente de carbono fueron trozos de caucho sin pretratamiento, se comprobó la degradación positiva mediante el uso del reactivo de Schiff. Seguidamente se procedió a realizar la medición de la producción de CO₂ utilizando trampas de carbono compuestas de Ba(OH) y un análisis de imágenes de microscopía electrónica de barrido a las piezas de caucho antes y después de pasar por el sistema de degradación. Se obtuvo un 5% de degradación luego de 20 días de funcionamiento en el sistema de trampas de CO₂, así mismo se pudo obtener un consorcio bacteriano compuesto en su mayoría por *Delftia tsuruhatensis*.

Palabras Clave: Biodegradación de caucho, consorcio nativo, Test de Sturm, análisis de metagenómica.

Abstract

The purpose of this thesis is to demonstrate the presence of microorganisms capable of using the rubber compounds of the tires. A consortium of native microorganisms isolated from Socabaya River was used, which was cultivated for a period of 7 months in the middle of mineral salts (MSM) whose only source of carbon was pieces of rubber without pretreatment, positive degradation was verified through the use of Schiff's reagent. Next, the CO₂ production was measured using carbon traps composed of Ba(OH) and scanning electron microscopy images to the rubber parts before and after passing through the degradation system. A 5% degradation was obtained after 20 days of operation in the CO₂ trap system, and a bacterial consortium composed mostly of *Delftia tsuruhatensis* could be obtained.

Key Words: Rubber biodegradation, native consortium, Sturm Test, metagenomic analysis.